

**VŠB – Technická univerzita Ostrava**

**Fakulta strojní**

**Katedra obrábění a montáže**

**Porovnávání odchylky kruhovitosti na konvečním měřicím  
zařízení a souřadnicovým měřicím strojem**

**The Compare of Roundness Deviation on Conventional  
Measuring Device and Coordination Measuring Machine**

Student:

Jakub Kostka

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Lenka Čepová, Ph.D.

Ostrava 2010

## Zadání bakalářské práce

Student: **Jakub Kostka**  
Studijní program: B2341 Strojírenství  
Studijní obor: 2303R002 Strojírenská technologie  
Specializace: 70 Strojírenská technologie  
Téma: Porovnávání odchylky kruhovitosti na konvenčním měřicím zařízení a  
souřadnicovým měřicím strojem  
The Compare of Roundness Deviation on Conventional Measuring  
Device and Coordination Measuring Machine

Zásady pro vypracování:

1. Úvod do problematiky.
2. Přehled současného stavu měření odchylky kruhovitosti.
3. Metody hodnocení.
4. Experimentální část.
5. Vyhodnocení výsledků měření.
6. Závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:


ADAMCZAK, S. *Odniesieniowe metody pomiaru okragłości części maszyn*. Kielce: Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, 1998. 181 s. PL ISSN 0239-4979.  
BREZINA, I. *Súradnicové meracie stroje a ich skúšanie*. Praha: Vydavateľství úřadu pro normalizaci a měření, 1987.  
OČENÁŠOVÁ, L. *Prispevok k hodnoteniu odchýlky kruhovitosti pri meraní na súradnicovom meracom stroji : Dizertačná práca*. Žilinská univerzita v Žiline – Strojnícka fakulta, 2008.  
PERNIKÁŘ, J., TYKAL, M., VAČKÁŘ, J. *Jakost a metrologie, Část metrologie*. Brno: VUT v Brne, 2004. 151 s. ISBN 80-214-1997-0.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Lenka Čepová, Ph.D.**

Datum zadání: 18.12.2009

Datum odevzdání: 21.05.2010

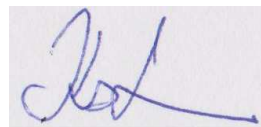
  
prof. Dr. Ing. Josef Brychta  
vedoucí katedry



  
prof. Ing. Radim Farana, CSc.  
děkan fakulty

## Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.



V Ostravě dne 21.5.2010

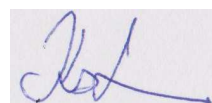
.....

podpis studenta

Prohlašuji, že:

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména § 35 - užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 - školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB - TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB - TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB – TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB - TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo - bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB - TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB - TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 11/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 21. 5. 2010



.....  
podpis

Jakub Kostka

Staré Hamry 9, 739 15

## Anotace bakalářské práce

KOSTKA, Jakub Porovnávání odchyly kruhovitosti na konvenčním měřicím zařízení a souřadnicovém měřicím strojem. Katedra obrábění a montáže, Fakulta strojní, VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2010, 37 stran, 3 příloh.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Lenka Čepová, Ph.D.

Bakalářská práce se zabývá porovnáváním odchyly kruhovitosti na konvenčním měřicím přístroji a souřadnicovém měřicím stroji. V teoretické části jsou obsaženy parametry hodnocení odchyly kruhovitosti, metody jejich měření, a vyhodnocení na konvenčních měřicích zařízeních a souřadnicových měřicích strojích. V experimentální části se zabýváme porovnáváním odchyly kruhovitosti, což je cílem práce.

---

## Annotation of bachelor Thesis

KOSTKA, Jakub The Compare of Roundness Deviation on conventional measuring Device and Coordination Measuring Machine. Department of machining and assembly, Faculty of mechanical Engineering, VŠB – Technical University of Ostrava, 2010, 37 pages, 3 supplements.

Bachelor Thesis, head: Ing. Lenka Čepová, Ph.D.

Bachelor's work deals by Compare of Roundness Deviation on conventional measuring Device and Coordination Measuring Machine. In theoretical part are engaged parameters, evaluation roundness deviation, methods their measurement and evaluation of conventional measuring equipments and coordinating measuring machines. Comparing the roundness deviation is a part of experimental section of this bachelor thesis.

## **Poděkování**

Chtěl bych poděkovat vedoucí bakalářské práce Ing. Lence Čepové, Ph.D., za odborné rady, a pomoc při zpracovávání bakalářské práce.

Také bych chtěl poděkovat firmě TomSpeed na Žilinské univerzitě v Žilině, Katedře obrábění a výrobní techniky, a jejím zaměstnancům za pomoc při experimentální části této práce. Dále bych rad poděkoval rodičům za podporu jak finanční tak morální při mém studiu.

## OBSAH

<b>OBSAH .....</b>	<b>1</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK .....</b>	<b>2</b>
<b>1. ÚVOD DO PROBLEMATIKY .....</b>	<b>3</b>
<b>2. PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU MĚŘENÍ ODCHYLKY KRUHOVITOSTI .....</b>	<b>4</b>
2.1. NORMY SOUVISEJÍCÍ S VYHODNOCENÍM ODCHYLKY KRUHOVITOSTI.....	4
2.2. ODCHYLKA KRUHOVITOSTI .....	7
2.2.1. PŘÍČINY VZNIKU GEOMETRICKÝCH ODCHYLEK .....	9
2.2.2. PARAMETRY HODNOCENÍ ODCHYLKY KRUHOVITOSTI.....	10
<b>3. METODY HODNOCENÍ.....</b>	<b>12</b>
3.1. SPOJITÉ METODY .....	13
3.1.1. ABSOLUTNÍ METODA – METODA MĚŘENÍ ZMĚNY POLOMĚRU.....	13
3.1.2. RELATIVNÍ METODY .....	16
3.1.3. SKENOVACÍ METODA .....	19
3.2. NESPOJITÉ METODY.....	20
3.3. MĚŘICÍ ZAŘIZENÍ NA MĚŘENÍ ODCHYLKY KRUHOVITOSTI .....	20
3.3.1. SOUŘADNICOVÉ MĚŘICÍ PŘÍSTROJE.....	21
3.3.2. KONVENČNÍ MĚŘICÍ PŘÍSTROJE.....	22
<b>4. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST.....</b>	<b>24</b>
4.1. MĚŘENÍ ODCHYLKY KRUHOVITOSTI NA KONVENČNÍM MĚŘICÍM ZAŘIZENÍ.....	25
4.2. MĚŘENÍ ODCHYLKY KRUHOVITOSTI NA SOUŘADNICOVÉM MĚŘICÍM ZAŘIZENÍ.....	27
<b>5. ZHODNOCENÍ.....</b>	<b>30</b>
5.1. ZHODNOCENÍ ODCHYLKY KRUHOVITOSTI NA KONVENČNÍM MĚŘICÍM PŘÍSTROJI .....	30
5.1.1. ZHODNOCENÍ ODCHYLKY KRUHOVITOSTI PRO VŠECHNY MĚŘENÉ VZORKY PŘÍ 15UPR A FILTRU GAUSS 75% .....	31
5.2. ZHODNOCENÍ ODCHYLKY KRUHOVITOSTI NA SOUŘADNICOVÉM MĚŘICÍM PŘÍSTROJI .....	32
5.3. POROVNÁVÁNÍ ODCHYLKY KRUHOVITOSTI NA KONVENČNÍM MĚŘICÍM PŘÍSTROJI A NA SOUŘADNICOVÉM MĚŘICÍM PŘÍSTROJI .....	34
<b>6. ZÁVĚR.....</b>	<b>35</b>

---

<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>36</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>37</b>



## Seznam použitých značek:

### Seznam použitých značek:

Symbol	Význam	Jednotka
$A$	Referenční kružnice	
$A1$	kružnice se středem C1	
$A2$	kružnice se středem C2	
$a_1$	kladná místní odchylka	
$a_2$	záporná místní odchylka	
$C1$	střed kružnice A1	
$C2$	střed kružnice A2	
$D1, D2$	průměr součástky	(mm)
$K_n$	konstantní součinitel	
$LDR$	místní odchylka kruhovitosti	
$LSCI$	(last squares mean circle) střední kružnice nejmenších čtverců	
$MCCI$	(minimum circumscribed circle) nejmenší opsaná kružnice	
$MICI$	(maximum inscribed circle) největší vepsaná kružnice	
$MZCI$	(minimum zone circles) nejmenší pásma - mezikruží	
$n$	počet měření	
$R_{max}$	poloměr nejmenší opsané kružnice	(mm)
$R_{min}$	poloměr největší vepsané kružnice	(mm)
$x, y, z$	souřadnicová osa	
$x_0$	pravá (konvenčně pravá, skutečná) hodnota	(mm)
$\alpha, \beta$	úhel	(°)
$\Delta r1$	radiální vzdálenost	( $\mu\text{m}$ )
$\Delta r2$	radiální vzdálenost	( $\mu\text{m}$ )
$\Delta Z_c$	nejmenší opsaná kružnice	
$\Delta Z_i$	největší vepsaná kružnice	
$\Delta Z_z$	nejmenší pásma – mezikruží	
$\Delta Z_q$	střední kružnice nejmenších čtverců	
$\Pi$	úhel	(°)
$upr$	Vlny na otáčku	

## 1. Úvod do problematiky

V dnešní době se vývoj ubírá směrem k větší kvalitě výrobků a ke snížení výrobních časů. Výrobní zařízení se stále zdokonalují, abychom dosáhli větších přesností obráběných ploch, v důsledku zdokonalení výrobních zařízení musíme nalézat co nejefektivnější technologie k výrobě součástí. Což zatěžuje také metrologickou činnost, kde musíme vynalézat stále lepší a efektivnější metody a přístroje k měření vyrobených součástí. V dnešní době se začaly pro svou universálnost a široké použití, používat ve výrobě souřadnicové měřicí stroje, jejichž výhodou je oproti konvenčním přístrojům (které se používají k měření jednoho parametru), to že můžeme celou měřenou součást proměřit najednou na jedno upnutí součásti, a není třeba je vyjímat z přístroje k naměření jiných hodnot. Také se souřadnicové měřicí přístroje používají pro měření velmi tvarově složitých součástí, kde konvenční měřicí přístroje nejsou schopny efektivně měřit, nebo by měření trvalo výrazně delší dobu. Souřadnicové měřicí přístroje mohou měřit i geometrické tolerance rozměrů. Pro co nejpřesnější měření musíme znát co nejvíce informací o měřeném profilu součásti. A také musíme vhodně zvolit počet snímacích bodů, zvolení malého počtu snímacích bodů může vést k rozdílným výsledkům měření, proto měřenou součást měříme více krát a stanovujeme průměrnou hodnotu, se kterou pak pracujeme.

Tato bakalářská práce se zabývá měřením a porovnáním naměřené odchylky kruhovitosti na konvenčním měřicím zařízení a souřadnicovém měřicím stroji. Nejprve provedeme měření a zhodnocení pro konvenční měřicí přístroj a následně budeme měřit a vyhodnocovat souřadnicový měřicí přístroj, obě zhodnocení poté spolu porovnáme.

## 2. Přehled současného stavu měření odchylky kruhovitosti

Ve výrobě jsou součásti vyrobeny s předepsanou přesností. Každá vyrobená součástka je zatížena větší nebo menší odchylkou tvaru, tato odchylka vzniká za působení mnoha vlivů při výrobě součásti. A proto nelze vyrobit součástku ideálního tvaru součásti. Proto po výrobě následuje měření součásti a následné vyhodnocení výsledku měření.

„Z metrologického hlediska nám nepřesnost součástí představuje odchylka skutečné povrchové plochy od plochy geometrické. Geometrická plocha je plocha teoretická, kterou určují předepsané rozměry. Skutečná povrchová plocha se realizuje v průběhu výroby součástí a má náhodný charakter. [5].“

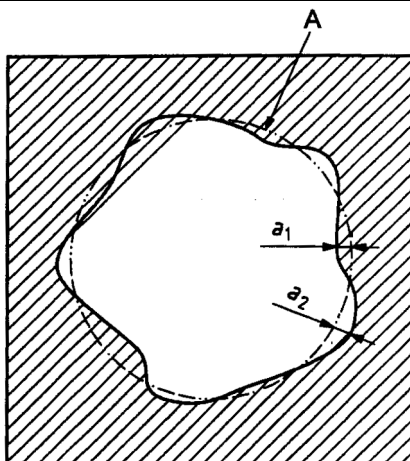
### 2.1. Normy týkající se vyhodnocení odchylky kruhovitosti

#### Norma ISO/TS 12181-1: 2003

Název normy: Geometrical Product Specifications (GPS) – Roundness

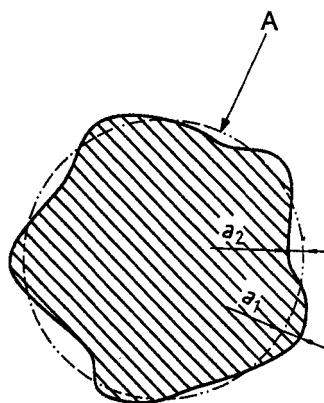
„Pojmy týkající se profilu: [6]“

- skutečný povrch obrobku (real surface of workpiece) – celý prvek skutečného povrchu obrobku limitovaný celým sousedním prvkem – [ISO 14660 – definice 2.4],
- vybraná obvodová čára (extracted circumferential line) – digitální vyjádření řezu skutečného povrchu a roviny kruhovitosti,
- profil kruhovitosti (roundness profile) – vybraná obvodová čára úmyslně upravená filtrem,
- místní odchylka kruhovitosti LRD (local roundness deviation) – minimální vzdálenost bodu profilu od referenční kružnice, viz. (Obr. 2.1) a (Obr. 2.2)



*Obr.2.1 Místní odchylka tvaru vnitřní kruhovitosti prvku*

*A – referenční kružnice,  $a_1$  – kladná místní odchylka,  $a_2$  – záporná místní odchylka. [6]*



*Obr.2.2. Místní odchylka tvaru vnější kruhovitosti prvku*

*A – referenční kružnice,  $a_1$  – kladná místní odchylka,  $a_2$  – záporná místní odchylka. [6]*

„Pojmy týkající se referenční kružnice: [6]”

- referenční kružnice (reference circle) – přiřazená kružnice profilu kruhovitosti v souladu se specifikovanou dohodou, ke kterému se vztahuje odchylka kruhovitosti a parametru kruhovitosti,
- referenční kružnice nejmenšího pásma (minimum zone reference – MZCI) – dvě soustředné kružnice uzavírající profil kruhovitosti a mající nejmenší radiální vzdálenost,
- vnější referenční kružnice nejmenšího pásma (outer minimum zone reference circle) – vnější kružnice z dvou kružnic MZCI,

- vnitřní referenční kružnice nejmenšího pásma (inner minimum zone reference circle) – vnitřní kružnice z dvou kružnic MZCI,
- průměrná referenční kružnice nejmenšího pásma (mean minimum zone reference circle) – střední průměrná kružnice z kružnic MZCI,
- střední kružnice nejmenších čtverců (least squares reference circle – LSCI) – kružnice, kde součet čtverců místních odchylek kruhovitosti je nejmenší,
- nejmenší opsaná kružnice (minimum circumscribed reference circle – MICI) – nejmenší možná kružnice, která se po obvodě dotýká měřeného profilu,
- nejmenší vepsaná kružnice (maximum inscribed reference circle – MCCI) – největší možná kružnice, která se dokola uvnitř dotýká měřeného profilu.

„*Pojmy týkající se obvodu kružnice:* [6]“

- vlny za otáčku (undulations per revolution – UPR) – počet sinusových vln obsažených v profilu kruhovitosti,
- obvodová vlnová délka (circumferential wavelenght) – obvod referenční kružnice dělený UPR.

„*Pojmy týkající se funkce filtrů:* [6]”

- vlnový filtr (wave filter) – filtr operující na uzavřeném profilu, přenášející rozsah sinusových vln, ke kterým je podíl amplitudy výstupu ke vstupu definován, pokud je zeslabení (např. redukování) podíl ležících vln mimo rozsah na jednom nebo obou koncích,
- přenosná charakteristika filtru (transmission characteristic of a filter) – charakteristika, která je označována množstvím, kterým je amplituda sinusového profilu zmírněna jako funkce jeho vlnové délky,
- vlnová hranice (undulation cutt-off) – hranice vlnové délky aplikovaného filtru k vytažené obvodové přímce,
- přenosné pásmo pro profil kruhovitosti (transmission band for roundness profiles) – pásmo sinusového profilu vln, které je přenášeno pomocí většího, jako specifikovaného procenta filtrem, definovaného pomocí hodnot vyšších a nižších vlnových hranic.

„Parametry hodnocení odchyly kruhovitosti: [6]”

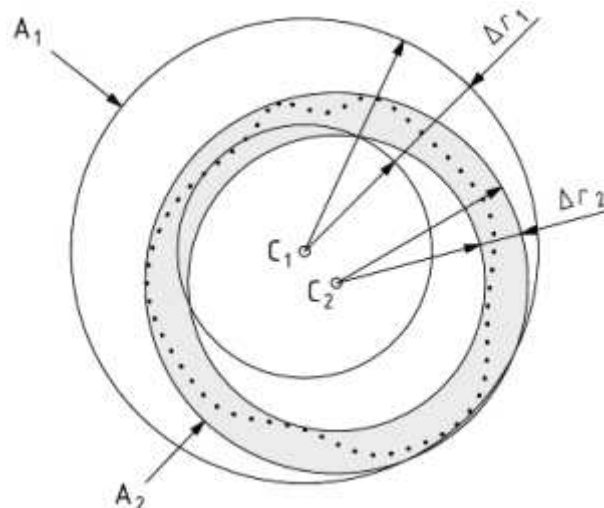
- vzdálenost odchylek kruhovitosti (peak-to-valley roundness deviation – MZCI, LSCI, MCCI, MICI) RONt – hodnota největší kladné místní odchyly kruhovitosti spočítané z absolutní hodnoty největší záporné místní odchyly,
- největší vrchol odchyly kruhovitosti (peak-to-reference roundness deviation – LSCI) RONp – hodnota největší kladné místní odchyly kruhovitosti ze střední kružnice nejmenších čtverců,
- největší odchyly kruhovitosti (reference-to-valley roundness deviation – LSCI) RONv – absolutní hodnota největší záporné místní odchyly kruhovitosti ze střední kružnice nejmenších čtverců,
- střední kvadratická hodnota odchyly kruhovitosti (root mean square roundness deviation – LSCI) RONq – odmocnina ze součtu čtverců místních odchylek kruhovitosti ze střední kružnice nejmenších čtverců je vyjádřena podle vztahu.

$$RONq = \sqrt{\frac{1}{2 \cdot \pi} \int_0^{2\pi} LRD^2 d\theta}$$

*LRD – místní odchyly kruhovitosti,  $\theta$  – okamžitý úhel profilu kruhovitosti*

## 2.2. Kruhovitost

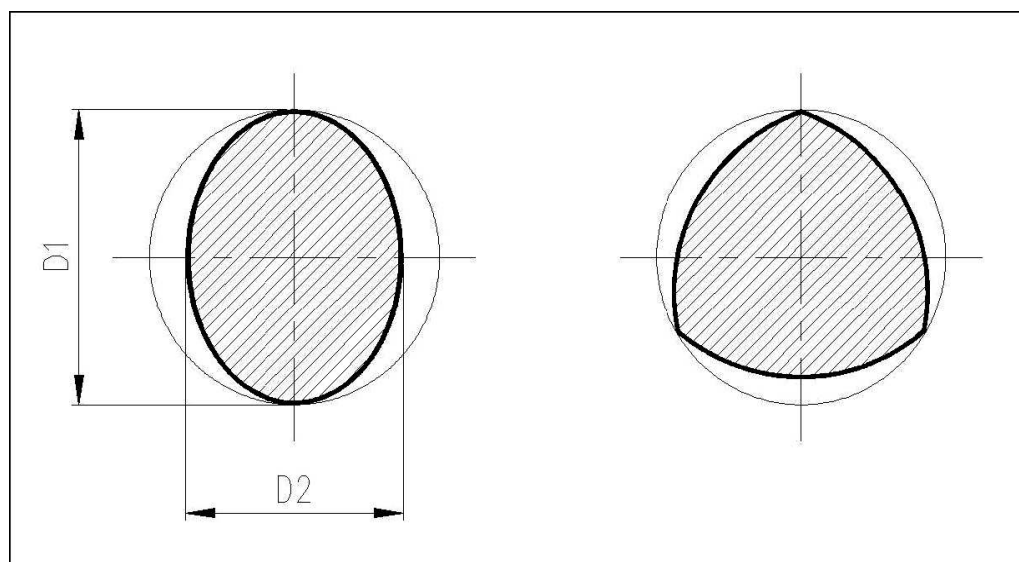
„Kruhovitost jednotlivého tolerovaného prvku se považuje za správnou, když je prvek ohraničen dvěma soustřednými kružnicemi, jejichž radiální vzdálenost se rovná předepsané hodnotě tolerance, nebo je menší. Umístění středu těchto kružnic a velikost jejich poloměrů se musí zvolit tak, aby radiální vzdálenost mezi dvěma soustřednými kružnicemi byla co nejmenší. [8]“



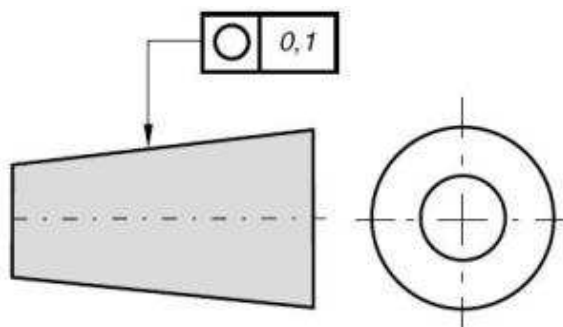
Obr. 2.3 Hodnocení minimální zóny pro kružnice. [8]

Správná poloha dvou soustředných kružnic je značena jako  $A_2$ , jejichž radiální vzdálenost  $\Delta r_2$  se rovná předepsané toleranci kruhovitosti, nebo je menší.

Skutečné tvary rotačních ploch se objevují ve dvou odlišných útvarech a to buď podobající se elipse a říkáme ji oválnost, nebo mají určitý počet hran po obvodu součásti a říkáme ji hranatost (Obr. ).



Obr. 2.4 Tvary rotačních ploch vlevo (oválnost, vpravo hranatost). [5]



Obr.2.5. Příklad tolerančního pole kruhovitosti a jeho značení. [2]

### 2.2.1. Příčiny vzniku geometrických odchylek

Z všeobecného pohledu rozdělujeme vznik odchylek:

- použitého obráběcího stroje,
- obrobku,
- nástroje,
- prostředí.

*Obráběcí stroj* – Na geometrickou odchylku tvaru má největší vliv, a je to především následujícími faktory:

- osa obrobku,
- osa obrobku je vychýlena od základní osy obrobku,
- chvění stroje,
- pružné deformace stroje.

*Obrobek* – ovlivňuje odchylku tvaru jen částečně:

- uvolněním zbytkových napětí,
- smrštění po obrábění,
- nehomogenitou materiálu,
- tepelným ovlivněním,
- stárnutím.
- 

*Nástroj* – má převládající vliv na drsnost obrobených ploch prostřednictvím:

- opotřebení,
- geometrie (poloměr hrotu),
- posuvu.



*Prostředí* – může ovlivňovat odchylky od ideálního geometrického tvaru:

- chvěním, přenášeným z obráběcích strojů stojící v blízkosti,
- chvěním, přenášeným z blízké dopravy, hlavně těžkých nákladních automobilů,
- lokální a časovou změnou okolní teploty.

„Všechny tyto zdroje způsobují odchylky obrobků od ideálních geometrických tvarů. [5]“

### 2.2.2. Parametry hodnocení odchylky kruhovitosti

Při měření odchylky kruhovitosti volíme počet měření a umístění řezu měření dle normy v závislosti na průměru součásti a délce měřené součásti. Řezy ve kterých, měříme odchylku kruhovitosti, musíme určovat kolmě na osu měřené součásti.

Obrobené plochy součásti, které kontrolujeme, jsou důležité hlavně z hlediska jejich požadavků na geometrickou přesnost. Do geometrické přesnosti spadá také kruhovitosť a přesnost obrobené plochy. Což je vlastně drsnost povrchu a také jeho vlnivost. Vlnivost můžeme při měření odstranit přidáním filtru. Přesnost měření je závislá na mnoha faktorech jako např. tvar povrchu, průměr kuličky, teplota v místnosti, správné vycentrování měřené součásti, atd.

K hodnocení odchylky kruhovitosti potřebujeme změřit řez profilu součásti a tento profil se porovnává s ideálním profilem. Určení polohy měřeného řezu a ideálního řezu stanovujeme dle určitých zákonitostí. Radiální velikost rozdílu obou profilů je prezentována jako odchylka kruhovitosti [5].

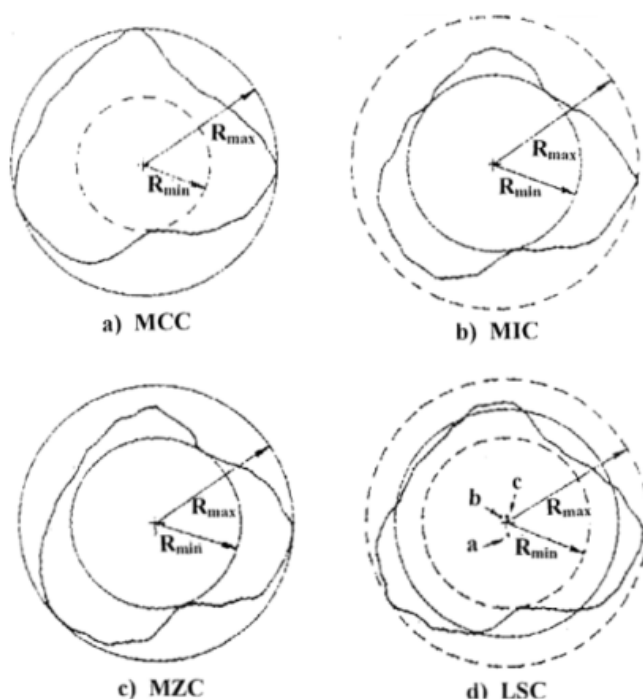
Možnost náhradních prvků – kružnic zaznamenaných ze zkoumaného profilu součástky, soustředného s osou rotace nebo jeho zobrazení. [5]

*Nejmenší opsaná kružnice (MCCI)* – nejmenší kružnice, kterou je možno nakreslit okolo zaznamenaného nebo upraveného profilu součásti (*Obr. 2.6a.*). Značí se  $\Delta Z_c$ . [5]

*Největší vepsaná kružnice (MICI)* – největší kružnice, kterou je možno nakreslit do zaznamenaného nebo upraveného profilu otvoru (*Obr. 2.6b.*). Značí se  $\Delta Z_i$ . [5]

*Nejmenší pásma – mezikruží (MZCI)* – dvě soustředné kružnice, které obklopují zaznamenaný nebo upravený profil a mají nejmenší radiální vzdálenost (Obr. 2.6c.). Značí se  $\Delta Zz$ . [5]

*Střední kružnice nejmenších čtverců (LSCI)* – kružnice, u které součet čtverců odchylek od zaznamenaného profilu nebo upraveného profilu je nejmenší (Obr. 2.6d.). Značí se  $\Delta Zq$ . [5]



(Obr.2.6.) Referenční kružnice pro hodnocení kruhovitosti. [1]

U měření kruhovitosti musíme pracovat s profilem, který získáváme nepřetržitým měřením povrchu součásti po obvodu. Při vyhodnocování a měření profilu součástí musíme dodržovat určité technické předpisy.

K získání určitých hodnot odchylek kruhovitosti je nutné dodržet po sobě následující kroky, které ovlivňují určitým způsobem přesnost měření.

Základní kroky:

- stanovení kritérií pro hodnocení kruhovitosti,
- získání informací z povrchu měřeného rotačního objektu, které je možno realizovat spojitým nebo diskrétním snímáním. Při diskrétním způsobu snímání je možno využít dvoubodovou nebo třibodovou metodu, nebo odměřování souřadnic

omezeného počtu bodů z obvodu pomocí souřadnicového měřicího stroje. Oba způsoby však patří mezi metody zjednodušené,

- *zpracování signálu* nesoucího informace,
- *vyhodnocení a interpretace* výsledků měření. [1]

### 3. Metody hodnocení odchylky kruhovitosti

Přesnost u odchylky kruhovitosti je velice důležitá, jelikož při velkých odchylkách kruhovitosti můžou nastat vibrace rotujících součástí, a to způsobí vibrace celého stroje což, může vest k poškození stroje. Velice důležitý parametr ovlivňující přesnost odchylky kruhovitosti je také drsnost povrchu a také vlnivost povrchu. Drsnost však po obvodu zjišťovat nemusíme, jelikož se dá odstranit použitím filtru. S vlnivostí při měření můžeme počítat nebo ji také odstranit použitím filtru. Každým dnem se snažíme metody hodnocení zdokonalovat k určení co nejpřesnější odchylky kruhovitosti.

K hodnocení odchylky kruhovitosti musíme nalézt profil rotačního objektu, tento profil se nahrazuje buď soustavou bodů, nebo je souvislý. Tento profil musí být kolmý na osu měřené součásti a budeme ho srovnávat s ideálním profilem. Při měření je nutné přesně udat polohu ideálního profilu k měřenému profilu součásti.

K měření odchylky kruhovitosti používáme několika vyhodnocovacích metod od přesných metod prováděných v laboratorních podmínkách, až k měření méně přesnými metodami, se kterými pracujeme převážně v dílenských podmínkách. Jak již bylo řečeno odchylku, měříme v rovině kolmé na osu součásti. K určení nejmenšího počtu měření při vyhodnocování odchylky kruhovitosti je udáváno normou.

Metody měření odchylky kruhovitosti, pro odlišné měřicí přístroje a zařízení lze rozdělit:

- Spojité metody,
- Nespojité metody (diskrétní metody).

#### 3.1.Spojité metody

„Spojité metody jsou takové metody, při kterých je dotykový snímač měřicího zařízení v neustálém kontaktu s měřenou součástkou po celou dobu měření. [5]”

### 3.1.1. Absolutní metoda-metoda měření změny poloměru

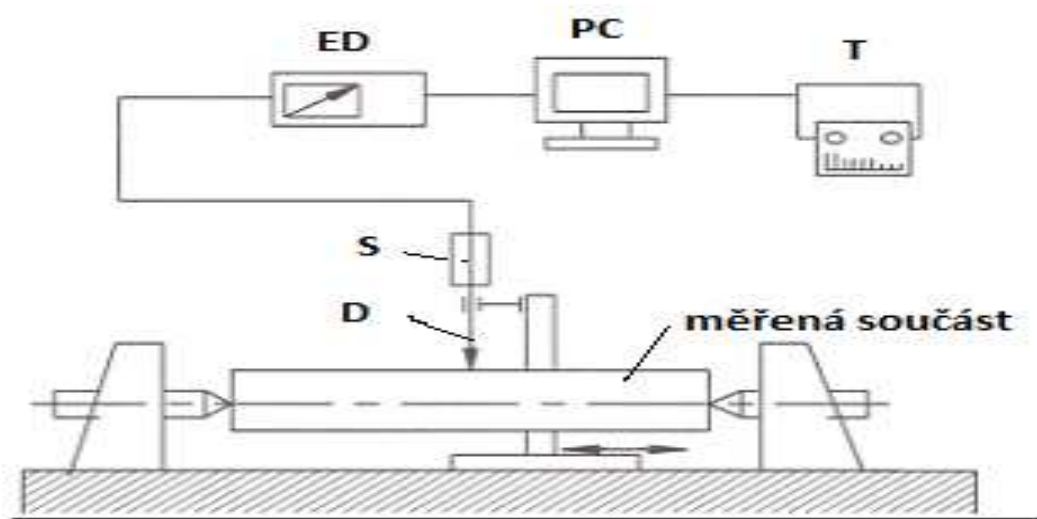
Tuto metodu můžeme vidět vesměs v laboratorních podmínkách, ve kterých jsou speciální měřicí přístroje, které rozdělujeme:

- *Přístroje s otočným vřetenem* – měřená součást se nehýbe (*obr. 3.1a*),
- *Přístroje s otočným stolem* – snímač stojí na místě a otáčí se stůl s měřenou součástí. (*obr. 3.1b*),
- *Přístroje s rotací součástky mezi hroty* – snímač je na místě a upnutá součást se otáčí (*obr. 3.2*).

Všechny tyto metody měření s vysokou přesností.

#### Metoda měření s rotací součástky mezi hroty

„Jedná se o nejjednodušší absolutní metodu měření (*obr. 3.2*). Měření se provádí pomocí měřicího přístroje, jehož dotyk je umístěný v radiálním směru [2].“

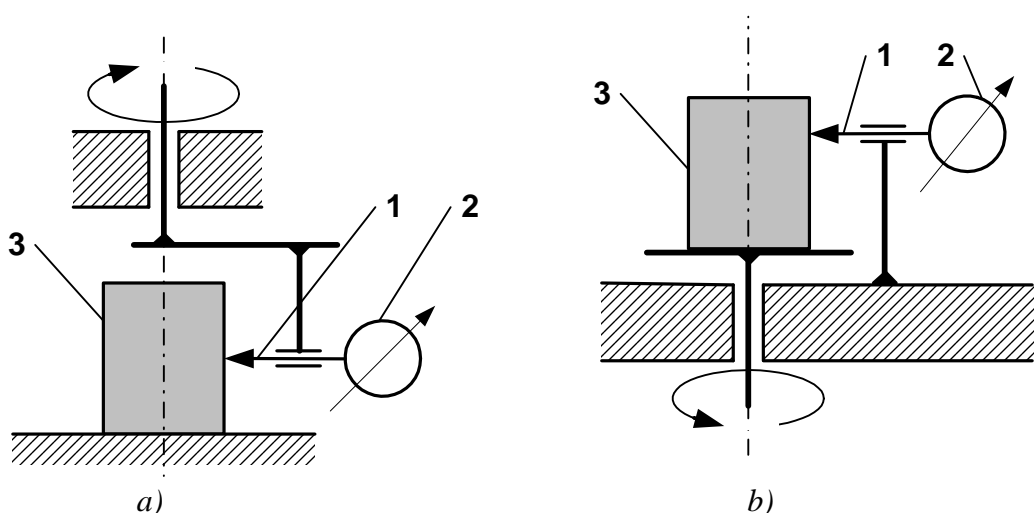


Obr. 3.2 Schéma měření při rotaci mezi hroty

*D – dotyk, S – snímač, ED – elektronický délkoměr, PC – počítač, T – tiskárna*[7]

### Metoda měření s rotujícím vřetenem a rotujícím stolem

„Jde zde o speciální zařízení, které povrch měřené snímá spojitě. Tyto metody jsou velice náročné na přípravu. Při těchto měřeních se snažíme vykonat dokonalé vystředění součásti tak, aby se osa součástky shodovala s osou rotace vřetene, nebo rotací stolu a excentricita byla co nejmenší. Poloměrové (radiální) pohyby snímače se převádějí na elektrické signály, které jsou pak dále zpracovávány. Výsledkem měření může být grafický záznam průběhu profilu kruhovitosti součástky, nebo jeho číselné vyhodnocení. Výhodou těchto měření je, že snímáný profil odpovídá skutečnému profilu. Měřicí přístroj nám zabezpečí vysokou přesnost, často vyšší než  $0,1\mu\text{m}$  (přesnost otáčení vřetene nebo stolu). Nevýhodou je velická časová náročnost na přípravu měření, která do sebe zahrnuje vystředění a vyrovnaní součástky.[2]”



obr. 3.1 Princip měření kruhovitosti, a) s rotujícím vřetenem, b) s rotačním stolem

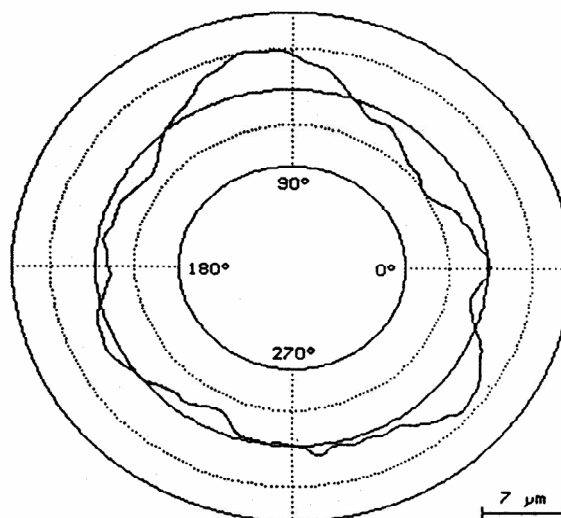
1 – měřicí dotyk, 2 – měřicí přístroj, 3 – měřená součástka [5]

Dle výstupních informací rozdělujeme:

- Přístroje se zápisem profilu (obr. 3.3),
- Přístroje s přímým zobrazením číselných hodnot parametrů,
- Přístroje s kombinací obou způsobů.

**Filtr dvojpólový 2-15****Parametry - LSC:**

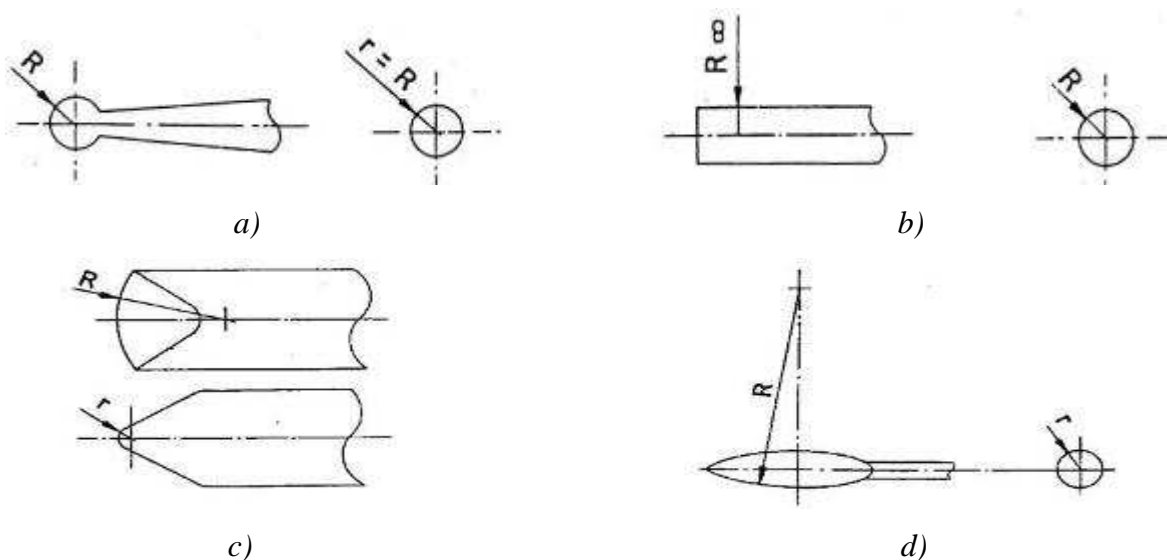
$\Delta_z$	7,06 $\mu\text{m}$
ovalita	8,07 $\mu\text{m}$
excentricita	1,18 $\mu\text{m}$

*Obr. 3.3 Graf profilu kruhovitosti [4]*

Dle charakteru povrchu měřeného objektu jsou normou STN ISO 4291 (01 4411) definované druhy a rozměry hrotů měřících doteků a je daná statická měřicí síla doteků [5].

Volba doteků také ovlivňuje charakteristiku povrchu součástky. V závislosti na druhu a rozsahu nerovnoměrnosti můžeme použít tyto doteky:

- Kulové,
- Válcové,
- Kapkové,
- Klínové.

*Druhy hrotů měřících doteků*

*a) kulový, b) válcový, c) klínový, d) kapkový[9]*

Poloměry hrotů měřicích dotyků: 0,25; 0,8; 2,5; 8; 25 [mm].

U přístroje se mohou vyskytovat tyto chyby:

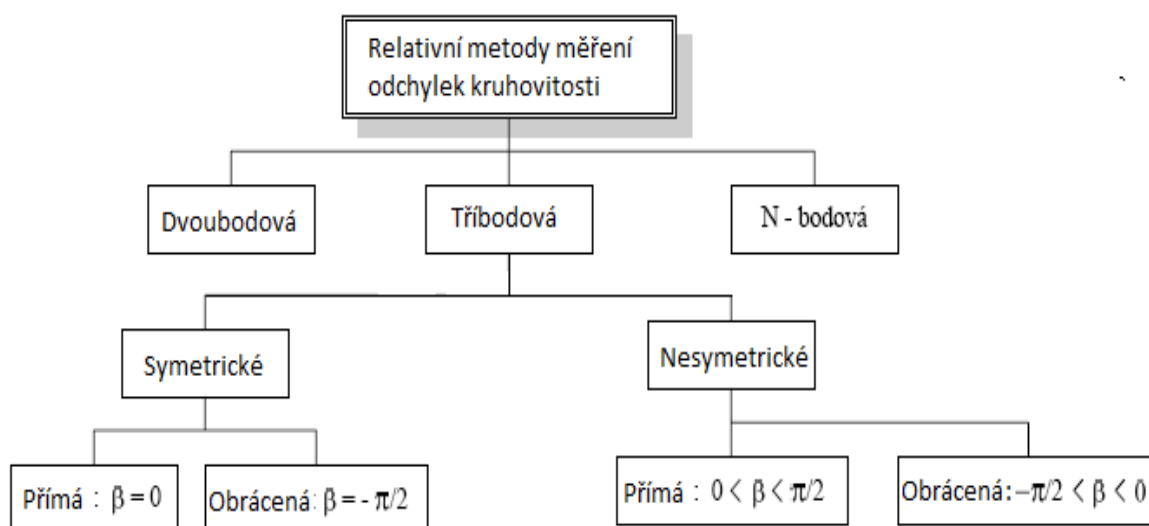
- Celková chyba přístroje,
- Chyba otáčení – radiální,
- Chyba otáčení axiální.

„Měřicí přístroje přizpůsobené absolutním metodám zaručují velkou přesnost měření. Jsou však používány především v laboratorních podmínkách, protože vyžadují splnění speciálních podmínek, jako například přesné středění a centrování měřených předmětů, což souvisí s vyrovnáním časově náročných činností. Z tohoto důvodu absolutní metody nemohou být využívány pro rychlé a hromadné hodnocení odchylek kruhovitosti. Pro takovéto hodnocení jsou vhodné relativní metody. [2]”

### 3.1.2. Relativní metody

Tyto metody se velice často využívají se spojení s mikropočítači a v měřicí technice. Jsou velice rozšířené díky dobré dostupnosti. Relativní metody se rozdělují na metody s opěrnými body a snímacími body, které určují parametry metod. Při výpočtu skutečné odchylky kruhovitosti využíváme opravné součinitele.

Podle (obr. 3.4) můžeme relativní metody rozdělit.

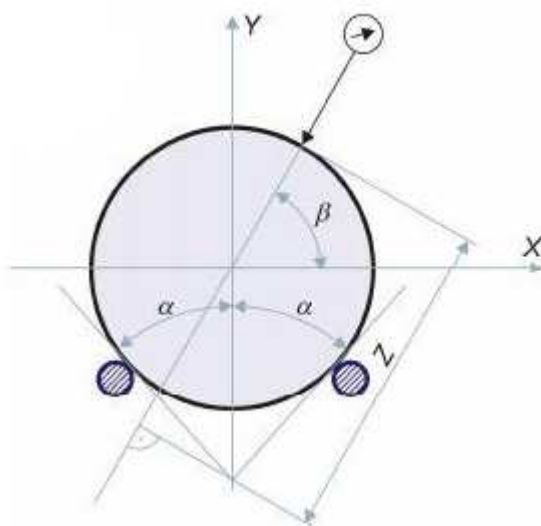


Obr. 3.4. Rozdělení relativních metod měření odchylky kruhovitosti[2]

U relativních metod rozlišujeme body:

- Podpěry,
- Body snímání.

Polohu těchto bodů vzhledem ke stanovené souřadnicové soustavě určují parametry metody – úhel  $\alpha$  a  $\beta$  (obr. 3.5).



*. Obr. 3.5 Princip měření odchytky kruhovitosti relativními metodami. [7]*

Úhel  $2\alpha$  – úhel mezi tvořícími čarami opěrných bodů, které jsou tečnami kružnic. Tyto body reprezentují pravý měřený profil v místech jejich styku s těmito body.

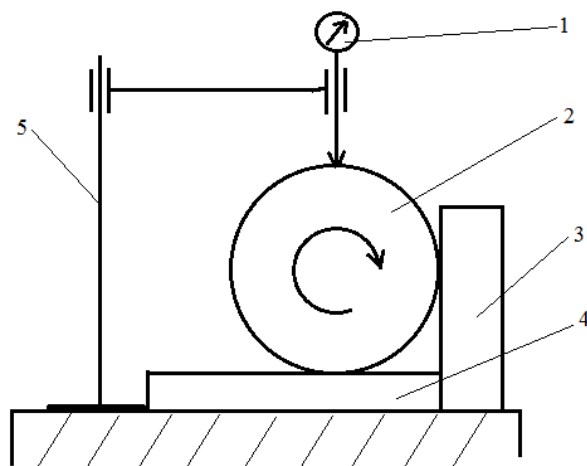
Úhel  $\beta$  – úhel mezi směrem měření (směrem pohybu snímacího dotyku) a souřadnicovou osou X. [2]

Relativní metody se často uplatňují ve výrobních podmínkách, protože je jednoduché je zavádět v praxi kvůli jejich jednoduchosti při montáži. Lze je montovat přímo na obráběcích strojích.

### Dvoubodová metoda

Velice často využívána metoda v praxi díky její jednoduchosti, u těchto metod se využívají universální měřicí přístroje. Tyto metody zavádíme u měření tvaru jen se sudým počtem nepravidelností. U nekruhovitosti lichého typu např. trojúhelníkové nebo pětiúhelníkové se průměr s úhlem natočení skoro nemění. K výpočtu skutečné odchytky se stanovuje konstantní součinitel  $K_n = 2$ . Při této metodě měření průměrů mikrometrem, nebo úchylkoměrem získáváme jen ty rozdíly průměrů v různých směrech.





Obr. 3.6 Měření úchylky kruhovitosti dvoubodovou metodou - přímou

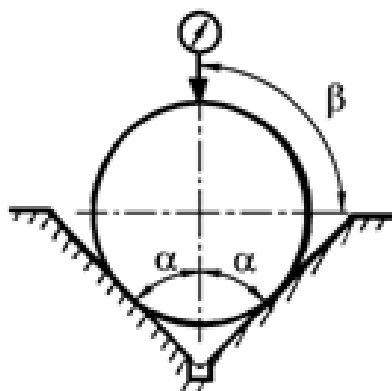
1 – Indikační přístroj, 2 – měřená součást, 3 – boční doraz, 4 – podložka, 5 – měřicí stojan[7].

### Tříbodové metody symetrické

Dělí se na:

- Přímé ( $\beta = \pi/2$ ),
- Obrácené ( $\beta = -\pi/2$ ).

Těmito metodami měříme vnější i vnitřní tvary profilů. Metodou obracenou používáme při měření odchytky kruhovitosti u velkých průměrů. Tato metoda se používá pro liché počty nepravidelnosti u kruhových profilů (obr. 3.7).



Obr. 3.7 tříbodová metoda symetrická [4]

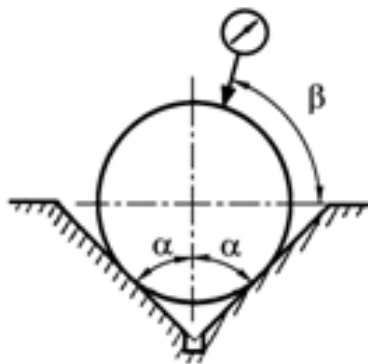
### Tříbodové metody nesymetrické

U těchto metod se spojují výhody dvou a tříbodových symetrických metod a díky tomu jde měřit veškeré případy odchylek kruhovitosti.

Lze také rozdělit na:

- Přímé ( $0 \leq \beta < \alpha$ ,  $\alpha < \beta < \pi/2$ ),
- Obrácené ( $-\pi/2 < \beta < -\alpha - \pi/72$ ,  $-\alpha + \pi/72 < \beta < 0$ ).

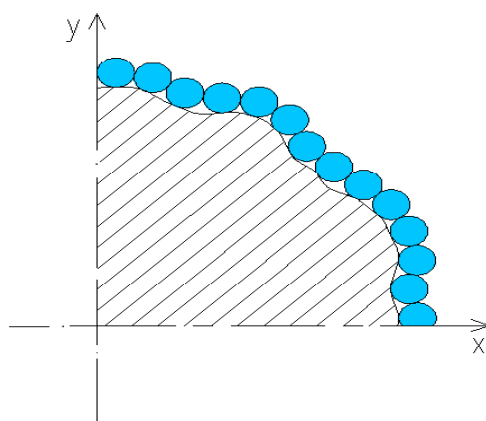
Opět jako u metody tří bodové symetrické můžeme měřit odchylky kruhovitosti jak vnitřních tak vnějších průměrů součástí. U těchto metod si musíme dát pozor, abychom správně určili kombinace úhlů  $\alpha$ ,  $\beta$ . Tuto metodu můžeme vidět na (obr. 3.8).



Obr. 3.8 tříbodová metoda nesymetrická[4]

### 3.1.3. Skenovací metoda

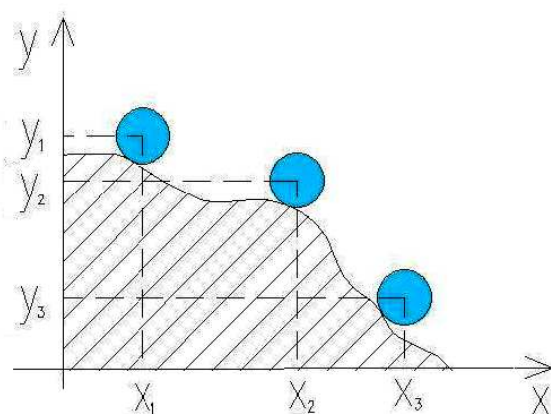
„Skenování se zařazuje do režimu snímání. K výsledku určení hodnot souřadnic měřených bodů po sobě jdoucích no charakteristické čáře měřeného profilu. Rozdělení těchto bodů se vzájemným rozestupem většinou menším než 0,1 mm. Lze tím dosáhnout velké hustoty skenování bodů a tím dostaneme podrobné informace o povrchu měřené součásti. Neustálým měřením prvků dosahujeme vysoké hustoty bodů, potřebné k určení opravdového tvaru měřeného povrchu. Princip lze vidět na obr. 3.9. Toto měření se provádí na SMS a skenovací hlava musí mít podporu skenovací technologie, jde o režim s nepřetržitým kontaktem měřicího hrotu a měřené součásti.[5]“



Obr. 3.9 schéma skenovací metody[2]

### 3.2. Nespojité metody

Tyto metody snímání získávají informace měřením souřadnic omezeného počtu bodů z povrchu měřené součásti. (obr. 3.2.1)



Obr. 3.2.1 Snímání bodů [5]

„Měření provádíme na souřadnicových měřicích strojích. Získáním několika bodů dostaneme přibližné informace o tvaru měřené součásti, nebo o místě polohy měřené plochy. Poté se spočítají souřadnice středu kružnic a průměrů. Tímto postupem dostaneme jen teoretický tvar a polohu kružnic.[5]”

### 3.3. Měřicí zařízení na měření odchylky kruhovitosti

K měření odchylky kruhovitosti využíváme 2 typy měřicích zařízení, ty se rozdělují podle metody měření a způsobu jak získáváme hodnoty s povrchu měřené součásti.

Měřicí zařízení lze rozdělit na:

- Souřadnicové měřicí přístroje,
- Konvenční měřicí přístroje.

### 3.3.1. Souřadnicové měřicí přístroje

Tyto měřicí stroje jsou velice složité měřicí systémy, u kterých se pracuje se dvěma souřadnicovými systémy, a to:

- Souřadnicový systém stroje,
- Souřadnicový systém měřeného předmětu.

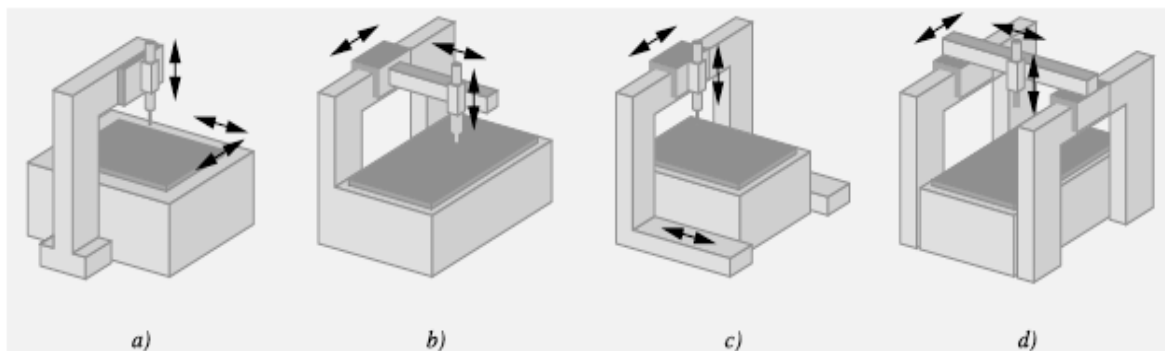
Tato metoda se hlavně využívá u výroby velmi složitých součástí, u nichž je kontrola geometrických rozměrů klasickými metodami, velmi složitá a nepřesná. Současné souřadnicové měřicí přístroje jsou univerzální stroje, a používají se k provedení přesných měření, převážně k měření skříňových součástí a pro kontrolu ploch složitějších tvarů jako třeba ozubení, nebo u turbinových lopatek.

#### Rozdělení souřadnicových měřicích strojů

„Prakticky všichni výrobci souřadnicových měřicích strojů nabízí ucelenou řadu od malých stolních přístrojů až po největší mostové systémy, které jsou schopny měřit např. karoserii automobilů. Koncepce souřadnicových měřicích systému v souladu s jejich velikostí vychází ze čtyř základních typů. [1]”

Rozdělení typu souřadnicových měřicích strojů:

- Sloupový,
- Výložníkový,
- Portálový,
- Mostový.



*Obr. 3.3.1 Typy souřadnicových měřicích strojů a) sloupový typ b) výložníkový typ  
c) portálový typ d) mostový typ [1]*

*Sloupový typ* – k měření malých rozsahů.

*Výložníkový typ* – musí být zaručený přístup k místu měření, z hlediska konstrukce volíme osu y krátkou k zajištění tuhosti stroje. Tímto typem měříme dlouhé a úzké součásti.

*Portálový typ* – Tento typ konstruujeme s vysokou tuhostí k zajištění přesnosti měření. Měříme střední a velké rozsahy. Tento typ lze vidět ve dvou výrobních variantách, s pohyblivým portálem a pevným portálem.

*Mostový typ* – Využívá se většinou v leteckém a automobilovém průmyslu díky jeho pracovnímu rozsahu.

### 3.3.2. Konvenční měřicí přístroje

„Ve výrobě se ke kontrole tvarů používají jednoduché pomůcky, jako jsou např. šablony nebo různé pravítka, a také měřicí přístroje jako číselníkové úchylkoměry a jiné přístroje. Těmito metodami se provádí měření na tzv. úhlových podložkách, nebo podobném uspořádání. Tyto metody patří k relativním, nebo také tříbodovým. Na této podstatě se navrhují měřicí přístroje, jenž lze využívat ve výrobě přímo na stroji, při obrábění. V dnešní době je použití relativních metod omezené, protože nemůžeme dopředu, vědět o kterou ze základních tvarových odchylek jde. [5]”

S konvenčními měřicími přístroji pracujeme pouze v laboratorních podmínkách. Vyznačují se tím, že měří s vysokou přesností. Pracují na principu spojitě metody. Naměřené hodnoty stroj přímo zpracovává na softwaru v počítači. Jako příklad uvádíme tyto typy přístrojů: Talyrond, Talysurf, Rondcom, Roundtest a další. Příklady takových přístrojů lze vidět na obr. 3.3.2.



a)



b)



c)



d)

*Obr. 3.3.2 Konvenční měřicí přístroje*

*a) Roundtest RA-100 Series 211, b) Rondcom 44 c) Talyrond 440 d) Talysurf CLI 2000*

## 4. Experimentální část

V experimentální části jsem se zabýval měřením kruhovitosti nejprve na konvenčním měřicím přístroji Mahr formtester MMQ 10 na Vysoké škole Báňské v Ostravě, Katedře obrábění a montáže, a na souřadnicovém měřicím přístroji Tesa MH – Derby 454 na Žilinské univerzitě v Žilině ve firmě TomSpeed. Porovnával jsem odchylku kruhovitosti na 8 měřených vzorcích (vločky do motoru), měření bylo provedeno v jednom řezu a to 100mm od spodu součástí.

Všechny měřené součástky jsou vyrobeny ze stejného materiálu litiny 25P, a všechny byly vyrobeny pomocí technologie soustružení keramickými břitovými destičkami od firmy Saint Gobain Advanced Ceramic. Měřené vzorky jsou zobrazeny na (obr. 4.1)



*obr. 4.1 měřené vzorky*

Parametry měřených vzorků:

- Průměr součástí: 74mm
- Výška součástí: 130mm
- Výška řezu měření: 100mm
- Součástku ustavujeme za spodní konec součástí.
- Materiál součástí: Litina 25P

#### 4.1. Měření odchylky kruhovitosti na konvenčním měřicím zařízení spojitou metodou

Měření bylo provedeno na vysoké škole Báňské na katedře obrábění a montáže, měřilo se na konvenčním měřicím zařízení Mahr formtester MMQ 10 (obr. 4.2). Měřil jsem všechny vzorky podle parametru referenčních kružnic LSCI, MZCI, MCCI, MICI.

Princip měření je uveden v kapitole 3.1.1 - Absolutní metoda – metoda s rotujícím stolem.

Pro první experiment sem měřil pro 15, 50 upr a při filtru GAUSS 50% a GAUSS 75% a další vzorky při GAUSS 75% a 15 upr.



Obr. 4.2 Konvenční měřicí přístroj Mahr formtester MMQ 10



Měřili jsme v radiálním směru, ve vzdálenosti 100mm od spodu součástí jako lze vidět na (obr. 4.3)

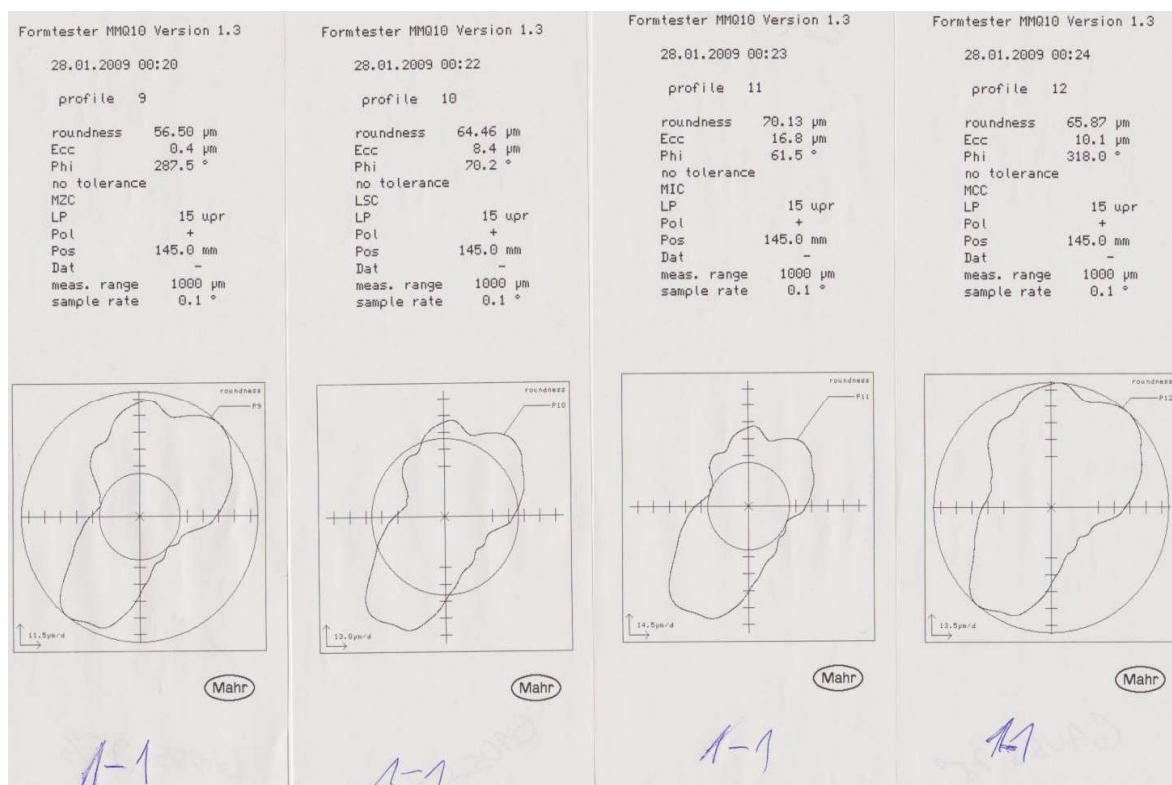


*Obr. 4.3 Ukázka měření součástí na konvenčním měřicím přístroji*

Podmínky měření:

- Přesnost stroje: 0.01 $\mu$ m,
- Teplota v místnosti: 20°C,
- Vlhkost v místnosti: 60%,
- Vyhodnocovací metoda: LSCI, MZCI, MCCI, MICI,
- Filtr: 50% a 75% GAUSS,
- Měřené součástky: 1-1, 2-1, 3-1, 4-1, 1-30, 2-30, 3-30, 4-30,
- Průměr kuličky: 3mm,
- Snímací sonda: Mahr T2W,
- Délka snímacího ramene: 60mm,
- Průměr snímací kružnice: 74mm.

Na (obr. 4.4) můžeme vidět příklad protokolu o měření na konvenčním měřicím přístroji Mahr formtester MMQ 10. Pro metody MZCI, LSCI, MICI, MCCI s filtrem GAUSS 75%. Zbývající protokoly jsou v příloze.



Obr. 4.4 Záznamy z měření

## 4.2. Měření odchylky kruhovitosti na souřadnicovém měřicím zařízení

Odchylku kruhovitosti na souřadnicovém měřicím zařízení Tesa MH – Derby 454 (obr. 4.5) jsme měřili na Žilinské univerzitě v Žilině na katedře obrábění a výrobní techniky ve firmě TomSpeed.

Měřila se odchylka kruhovitosti na 8 vzorcích v řezu 100mm od spodu součásti, každá součástka (obr. 4.6) se měřila 3 - krát a vypočetli jsme, její aritmetický průměr odchylky kruhovitosti který jsme posléze vyhodnocovali.



*Obr. 4.5 Souřadnicový měřicí přístroj Tesa MH – Derby 454*

Po obvodu součásti jsme měřili 32 dotykových bodů, které byly vyhodnoceny softwarem Derby / Easy measure.

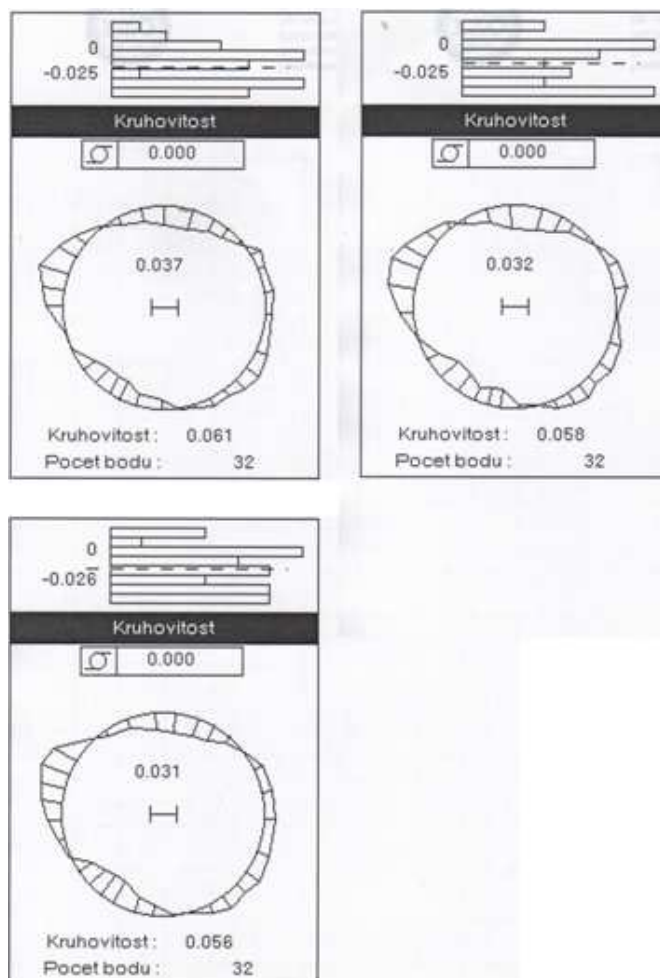


*Obr. 4.6 snímání bodu po obvodu měřeného vzorku*

## Podmínky měření:

- Opakovací přesnost: 0.004mm,
- Prostorová přesnost měření: 0.010mm,
- Jednorozměrná přesnost: 0.005mm,
- Teplota místnosti: 20°C,
- Vlhkost v místnosti: 60%,
- Měřené vzorky: 1-1, 2-1, 3-1, 4-1, 1-30, 2-30, 3-30, 4-30,
- Snímací sonda: TESASTAR-I
- Průměr snímací kružnice: 74mm,
- Délka snímacího ramena: 100mm,
- Průměr kuličky: 6mm.

Na (obr. 4.7) Je ukázka protokolu o měření na souřadnicovém měřicím přístroji Tesa MH – Derby 454.



Obr. 4.7. Protokoly odchylky kruhovitosti na souřadnicovém měřicím stroji Tesa MH – Derby 454.

## 5. Zhodnocení

### 5.1. Zhodnocení odchyly kruhovitosti na konvenčním měřicím přístroji

V tabulce (Tab. 5.1) a grafu (obr. 5.2a,b) lze vidět porovnání odchyly kruhovitosti u parametru hodnocení LSCI, MZCI, MCCI, MICI. Všechna měření jsme prováděli na součástce 1-1 v řezu měření 100mm od spodu součásti.

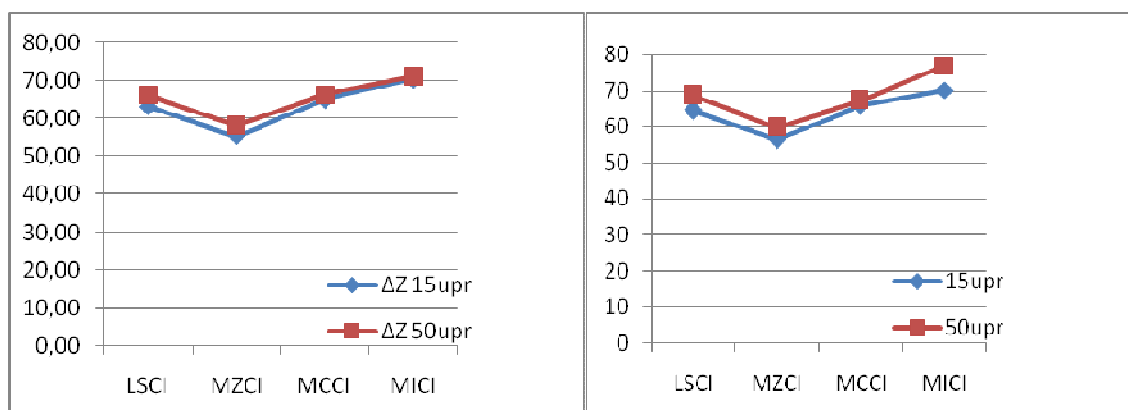
Tab. 5.1

Odchylna kruhovitosti	Filt	GAUSS 50%				GAUSS 75%				Jednotky
	metoda	LSCI	MZCI	MCCI	MICI	LSCI	MZCI	MCCI	MICI	
$\Delta Z$	15upr	63,08	55,26	64,89	70,4	64,46	56,5	65,87	70,13	[ $\mu\text{m}$ ]
	50upr	66,17	58,14	66,34	71,07	68,52	59,82	67,31	76,88	[ $\mu\text{m}$ ]

všechny hodnoty měřeny v jednom řezu

Tab. 5.1 porovnání odchyly kruhovitosti

Na grafu lze vidět odchylnu kruhovitosti při filtru 50% GAUSS (obr. 5.2a) a při filtru 75% GAUSS (obr.5.2b). Také vidíme, že odchylna kruhovitosti je nejmenší u parametru MZCI.



a)

b)

Obr. 5.2 a) použitý filtr 50%GAUSS b) filtr 75%GAUSS

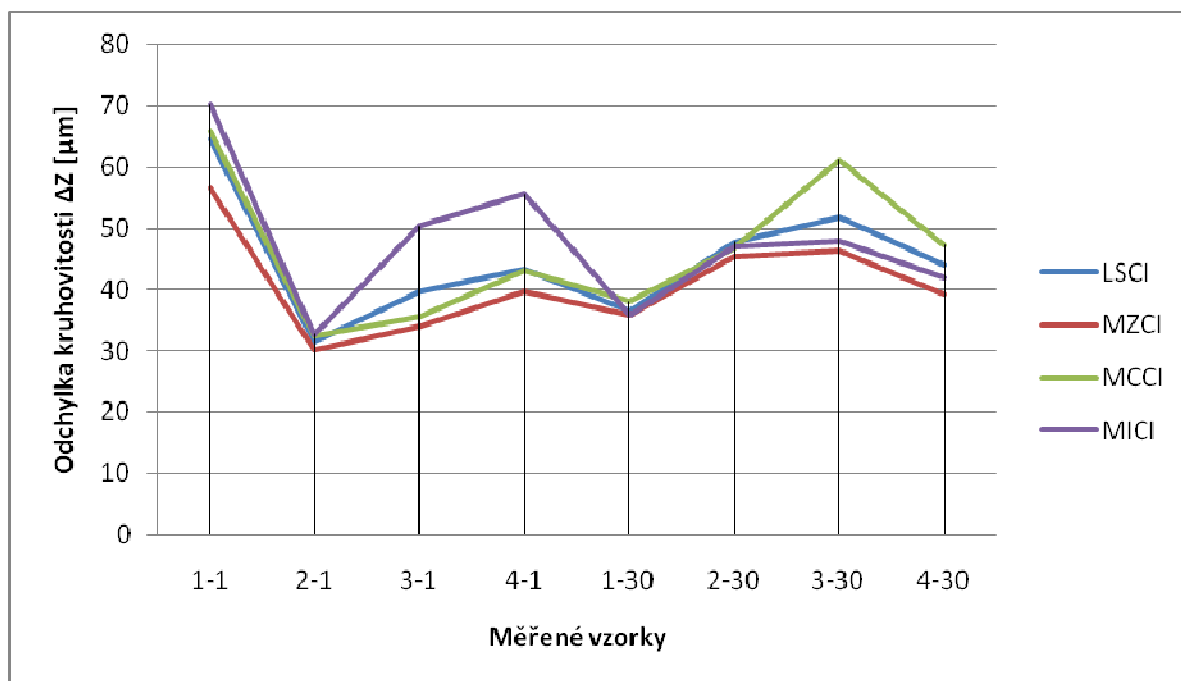
### 5.1.1. Zhodnocení odchyly kruhovitosti pro všechny měřené vzorky při 15upr a filtru GAUSS 75%

V (Tab. 5.3) jsou uvedeny hodnoty odchyly kruhovitosti všech 8 měřených vzorků pro všechny parametry hodnocení.

Porovnání $\Delta Z$ při 15upr s filtrem 75% GAUSS										
Metoda		Vzorek								Jednotky
		1-1	2-1	3-1	4-1	1-30	2-30	3-30	4-30	[ $\mu\text{m}$ ]
Metoda	LSCI	64.46	31.46	39.71	43.37	36.39	47.70	51.73	43.91	[ $\mu\text{m}$ ]
	MZCI	56.50	30.21	33.97	39.75	35.79	45.39	46.26	39.18	[ $\mu\text{m}$ ]
	MCCI	65.87	32.29	35.58	43.14	37.97	46.63	61.17	47.23	[ $\mu\text{m}$ ]
	MICI	70.13	32.63	50.39	55.49	35.92	46.93	47.97	41.86	[ $\mu\text{m}$ ]

Tab. 5.3 porovnání odchyly kruhovitosti

V grafu (obr. 5.4) lze vidět grafické znázornění odchyly kruhovitosti pro všechny parametry hodnocení. V grafu vidíme, že nejmenší odchyly kruhovitosti je u vzorku 2-1 a parametru hodnocení MZCI.



Obr. 5.4 Graf odchyly kruhovitosti pro všechny měřené vzorky.

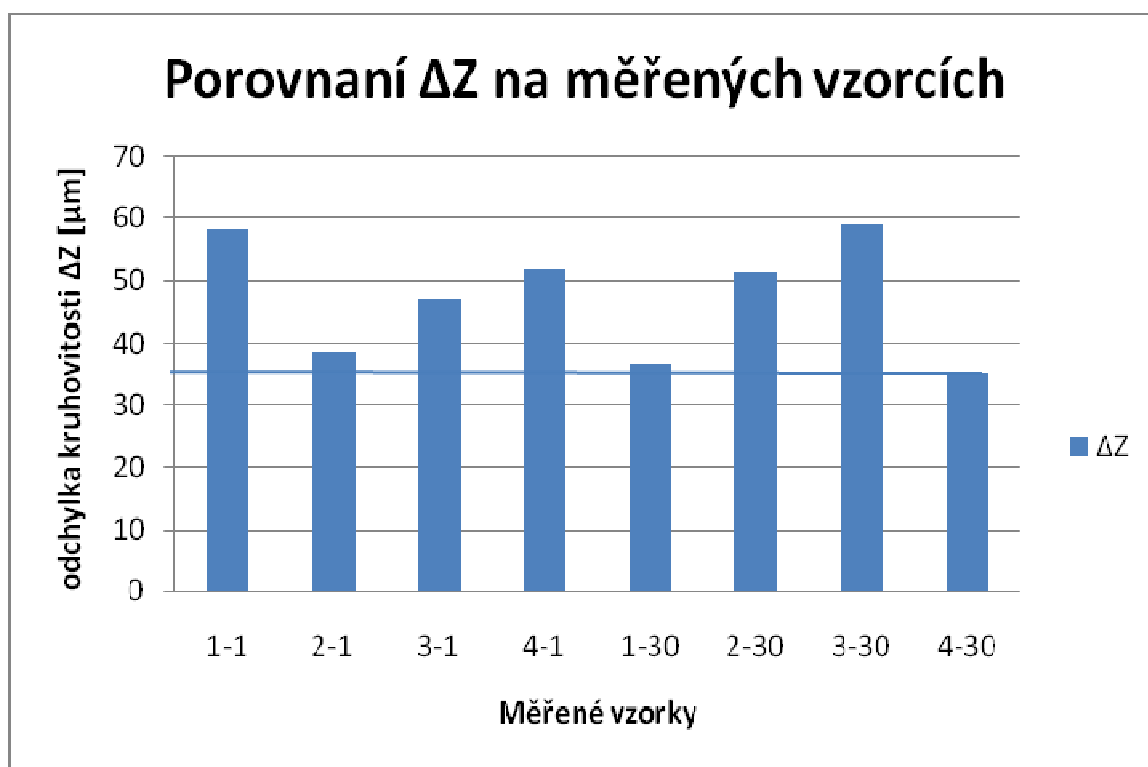
## 5.2. Zhodnocení odchylky kruhovitosti na souřadnicovém měřicím přístroji

V (Tab. 5.5) jsou uvedeny průměrné hodnoty s 3 měření na všech 8 měřených vzorcích na souřadnicovém měřicím zařízení.

	vzorek								Jednotky
	1-1	2-1	3-1	4-1	1-30	2-30	3-30	4-30	
$\Delta Z$	58,33	38,66	47	52	36,66	51,33	59	35	[ $\mu\text{m}$ ]

Tab. 5.5 průměrná odchylka kruhovitosti měřena na všech 8 vzorcích

V grafu (obr. 5.6) je znázorněna odchylka kruhovitosti pro měření na souřadnicovém měřicím stroji Tesa MH – Derby 454. V grafu je vidět nejmenší naměřená odchylka kruhovitosti u vzorku 4-30.



Obr. 5.6 Odchylky kruhovitosti naměřená pro všechny měřené vzorky.

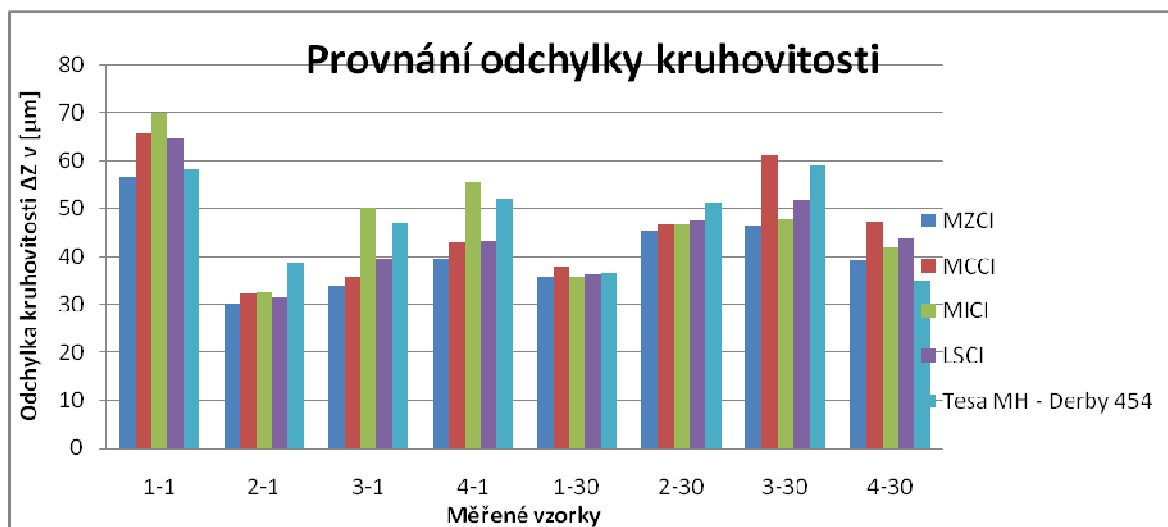
### 5.3. Porovnání odchylky kruhovitosti na konvenčním měřicím přístroji a na souřadnicovém měřicím přístroji

Při vyhodnocování odchylky kruhovitosti na konvenčním měřicím přístroji Mahr formtester MMQ 10 jsme zjistili, že nejmenší odchylku kruhovitosti vykazuje parametr hodnocení MZCI. A proto ho budu porovnávat s hodnotami naměřenými na souřadnicovém měřicím přístroji Tesa MH – Derby 454. V tabulce (Tab. 5.7) vidíme průměrné hodnoty odchylky kruhovitosti a hodnoty naměřené při všech parametrech hodnocení.

Měřené vzorky	formtester MMQ 10				Tesa MH - Derby 454	Jednotka
	MZCI	MCCI	MICI	LSCI	32 snímacích bodů	
1-1	56,5	65,87	70,13	64,46	58,33	[ $\mu\text{m}$ ]
2-1	30,21	32,29	32,63	31,46	38,66	[ $\mu\text{m}$ ]
3-1	33,97	35,58	50,39	39,71	47	[ $\mu\text{m}$ ]
4-1	39,75	43,14	55,49	43,37	52	[ $\mu\text{m}$ ]
1-30	35,79	37,97	35,92	36,39	36,66	[ $\mu\text{m}$ ]
2-30	45,39	46,63	46,93	47,7	51,33	[ $\mu\text{m}$ ]
3-30	46,26	61,17	47,97	51,73	59	[ $\mu\text{m}$ ]
4-30	39,18	47,23	41,86	43,91	35	[ $\mu\text{m}$ ]

Obr. 5.7 Tabulka porovnávaných hodnot

V grafu (obr. 5.8) lze vidět, že součástka 2-1 se nejvíce přibližuje ideálnímu tvaru odchylky kruhovitosti.



Obr 5.8 Porovnání odchylky kruhovitosti



## 6. Závěr

V této bakalářské práci jsem se zabýval porovnáváním odchylky kruhovitosti při měření na konvenčním měřicím zařízení a souřadnicovém měřicím stroji. Což bylo cílem práce. Dále jsem se v práci zabýval porovnáváním odchylky kruhovitosti na 8 měřených součástkách, které jsem nejprve naměřil na konvenčním měřicím zařízení a vyhodnotil je. Pro součástku 1-1 jsem měřil na konvenčním měřicím přístroji při 15, 50 upr a použil filtr 50%, 75% GAUSS a vyhodnotil, zbytek součástek jsem měřil při 15 upr a filtru 75% GAUSS.

V teoretické části bakalářské práce jsem se zabýval normami tykajícími se vyhodnocením odchylky kruhovitosti. Dále se v práci věnuji základními informacemi o odchylce kruhovitosti a její měření a vyhodnocování. Také jsou zde obsaženy informace o tom na jakých strojích a přístrojích se odchylka kruhovitosti měří.

Následující experimentální část obsahuje základní informace o měřených součástkách, jejich základní rozměry, vzdálenosti míst řezu měření. V přílohách jsou zkopírovány protokoly o měření na konvenčním měřicím zařízení a souřadnicovém měřicím stroji. V první části jsem porovnával odchylku kruhovitosti pro vzorek 1-1 naměřenou na konvenčním měřicím zařízení Mahr formtester MMQ 10 pro parametry hodnocení LSCI, MZCI, MCCI, MICI a při použití filtru 50%, 75% GAUSS zjistil jsem, že při obou použitých filtrech vykazuje metoda MZCI nejmenší naměřenou odchylku kruhovitosti. Následující experiment se zabývá porovnáním odchylky kruhovitosti u všech 8 vzorků, při použití filtru 75% GAUSS a 15upr také zde vykazuje nejmenší odchylku kruhovitosti parametr hodnocení MZCI a nejmenší odchylku kruhovitosti vzorek 2-1. Pak jsem, naměřil odchylky kruhovitosti pro všechny vzorky na souřadnicovém měřicím stroji, každý vzorek jsem měřil 3 – krát a vypočetl aritmetický průměr, se kterým jsem dále pracoval, při zpracování jsem zjistil, že nejmenší odchylku kruhovitosti vykazuje vzorek 4-30. V poslední části práce jsem se zabýval porovnáváním odchylky kruhovitosti naměřených na konvenčním měřicím zařízení a na souřadnicovém měřicím stroji, zjistil jsem, že porovnávané hodnoty se mírně liší, což může být způsobeno počtem snímacích bodů u souřadnicového měřicího stroje, to lze eliminovat zvolením vyššího počtu snímacích bodů. Při vyšším počtu snímacích bodů lze měření považovat za velice přesné.

### Seznam použité literatury

- [1] PERNIKÁŘ, Jiří; TYKAL, Miroslav; VAČKÁŘ, Josef. *Jakost a metrologie : část metrologie*. Brno: CERM, 2001. 151 s. ISBN 80-214-1997-0.
- [2] OČENÁŠOVÁ, Lenka. *Príspevok k hodnoteniu odchýlky kruhovitosti pri meraní na súradnicovom metacím stroji*. Žilina, 2008. 104 s. Dizertační práce. Žilinská univerzita v Žilině, Fakulta strojní.
- [3] TELÚCH, Ondrej. *Meranie odchýlky kruhovitosti spojitou a nespojitou metódou*. Žilina, 2008. 70 s. Diplomová práce. Žilinská univerzita v Žilině, Fakulta strojní.
- [4] TICHÁ, Šárka. *Strojírenská metrologie: část 1*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2006. 104 s. ISBN 80-248-0671-1.
- [5] WOJTAS, Jakub. *Hodnocení odchylky kruhovitosti na souřadnicovém měřicím stroji*. Ostrava, 2009. 38 s. Bakalářská práce. VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní.
- [6] Norma ISO/TS 12181-1. *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Kruhovitost : Část 1: Slovník a parametry kruhovitosti*. [s.l.] : Český normalizační institut, 2005. 14 s.
- [7] ADAMCZAK S.: *Odniesieniowe metody pomiaru okrągłości części maszyn*; Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej; Kielce, 1998, PL ISSN 0239-4979
- [8] STN EN ISO 1101 (01 4401). *Geometrické špecifikácie výrobkov (GPS) : Geometrické tolerovanie: Tolerancie tvaru, orientácie, polohy a hádzania*. [s.l.] : [s.n.], 2006.
- [9] Norma STN ISO 4291. *Metódy hodnotenia odchýlok kruhovitosti - Meranie zmien polomeru*. [s.l.] : [s.n.], 1995.

## Seznam příloh:

**Příloha 1:** Protokol o měření odchylky kruhovitosti na konvenčním měřicím zařízení, pro vzorek 1-1.

**Příloha 2:** Protokol o měření odchylky kruhovitosti na konvenčním měřicím zařízení pro všechny měřené vzorky.

**Příloha 3:** Protokol o měření odchylky kruhovitosti na souřadnicovém měřicím stroji, pro všechny měřené vzorky.